

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets

(11)



EP 0 764 858 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
01.10.2003 Patentblatt 2003/40

(51) Int Cl. 7: **G02B 5/30, G03F 7/20**

(21) Anmeldenummer: **96113892.2**

(22) Anmeldetag: **30.08.1996**

(54) **Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit radial-polarisations-drehender optischer Anordnung**

Microlithographic projection illumination arrangement using device for producing radial polarisation
Appareil d'illumination microlithographique par projection utilisant un dispositif pour la production de la polarisation radiale

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE GB NL

(30) Priorität: **23.09.1995 DE 19535392**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.03.1997 Patentblatt 1997/13

(60) Teilanmeldung:
03011501.8 / 1 343 051

(73) Patentinhaber: **Carl Zeiss SMT AG**
73447 Oberkochen (DE)
Benannte Vertragsstaaten:
DE GB NL

(72) Erfinder: **Schuster, Karl-Heinz**
89551 Königsbronn (DE)

(74) Vertreter: **Gnatzig, Klaus**
Carl Zeiss
Patentabteilung
73446 Oberkochen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 419 257 DE-C- 3 523 641
US-A- 4 286 843 US-A- 5 365 371
US-A- 5 436 761

- **TIDWELL S C ET AL: "EFFICIENT RADIALLY POLARIZED LASER BEAM GENERATION WITH A DOUBLE INTERFEROMETER" APPLIED OPTICS, Bd. 32, Nr. 27, 20. September 1993, Seiten 5222-5229, XP000393432**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 396 (E-815), 4.September 1989 -& JP 01 143216 A.(NEC CORP), 5.Juni 1989,**
- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 096, no. 003, 29.März 1996 -& JP 07 307268 A (NEC CORP), 21.November 1995,**

EP 0 764 858 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

ne polarisierten Lichts kleiner als der Anteil des parallel polarisierten Lichts ist. Bei nur vier 90°-Sektoren mit Halbwellenplatten wird dieser Grenzfall erreicht, so daß bevorzugt mehr Halbwellenplatten im Lichtbündelquerschnitt angeordnet werden, insbesondere größtenteils 10 bis 10² Facetten oder Sektoren.

[0023] Im Unterschied zu bekannten Radialpolarisatoren mit Sektoren (US 5,365,371 und US 4,286,843) wird nicht mit erheblichem Verlust die Polarisation ausgefiltert, sondern das Licht wird in seiner Polarisationsrichtung durch doppelbrechende Elemente verändert bei minimalen Verlusten.

[0024] Eine stetige radiale Ausrichtung der linearen Polarisierung bewirkt die in Fig. 2 dargestellten optischen Anordnungen für eintretendes unpolarisiertes oder zirkular polarisiertes Licht (40). Sie ist ein Polarisationsfilter und im Prinzip aus US 5,365,371 bekannt, im Detail jedoch neu.

[0025] Es handelt sich um einen hohlgebohrten Kegelstumpf (20) aus transparentem Material, z.B. Glas FK5, Quarzglas oder CaF₂, mit dem Kegelwinkel α entsprechend dem Brewsterwinkel und einer dielektrischen Reflexbeschichtung auf dem Kegelmantel (21). Der senkrecht zur Einfallsebene polarisierte Teil (47) des Lichtstrahls (40) wird daher voll reflektiert, der transmittierte Strahl (4p) ist voll parallel zur Einfallsebene polarisiert, und damit überall radial zur optischen Achse (A) hin linear polarisiert. Der hohlgebohrte Kegelstumpf (20) ist für eine Ringaperturbeleuchtung adaptiert und sorgt für kürzeste Baulänge, natürlich funktioniert auch ein Vollkegel. Der Kegelstumpf (20) ist durch einen passenden Hohlkegelstumpf (22), der an der Kegelfläche (21) anliegt, zu einem Zylinderring ergänzt, wodurch die spiegelnde Kegelfläche (21) geschützt ist und das ganze leichter zu fassen ist. Kegelstumpf (20) und Hohlkegel (22) haben den gleichen Brechungsindex, so daß der Lichtdurchtritt ohne Brechung an der Kegelfläche (21) erfolgt, im Gegensatz zur US 5,365,371.

[0026] Fig. 3a zeigt im Querschnitt eine Weiterentwicklung der Ausführung nach Fig. 2, bei der auch der reflektierte Teil (4s) genutzt wird, so daß also eine Anordnung mit weitaus weniger als 50% Lichtverlust erreicht wird, da die Polarisierung effektiv gedreht und nicht gefiltert wird.

[0027] Um den Kegelstumpf (20') mit dem Kegelmantel (21') entsprechend Fig. 2 (mit anschließendem zylindrischem Verlängerungsteil) ist ein transparentes Teil (30) mit einer zum Kegelmantel (21') parallelen spiegelnden Kegelfläche (31) angeordnet, an dessen Austrittsfläche (32) ein Ring aus Segmenten (5i, 5k) von Halbwellenplatten angeordnet ist, deren Hauptachsen (6i, 6k) jeweils unter 45° zum Radius in Segmentmitte stehen, wie in Fig. 3b gezeigt. Damit wird, wie bei Fig. 1 beschrieben, die radiale Linearpolarisation auch des am Kegelmantel (21') reflektierten Lichts (4s) im achsparallelen Bündel (4r) bewirkt. Die bewirkte Erhöhung des Lichtleitwertes ist zumindest bei Laserlichtquellen vielfach erwünscht. Wichtig ist, daß die Anordnung für

unpolarisiert einfallendes Licht geeignet ist. Durch Weglassen oder Hinzufügen von optischem Glas kann im Bedarfsfall der optische Weg von Kegelstumpf (20') und transparentem Teil (30) angepaßt werden.

[0028] Eine ebenfalls stetig radial linear polarisiertes Licht erzeugende Anordnung, hier aber für linear oder zirkular polarisiertes Licht am Eingang und mit geringer Baulänge in Richtung der optischen Achse, zeigt das Beispiel gemäß den Figuren 4a bis 4d. Es ist besonders für Ringapertur-Optiken geeignet.

[0029] Ein Ring-Bündel von einheitlich linear polarisiertem Licht (41) trifft wie in Fig. 4a im Schnitt dargestellt auf einen Stapel von drei Planplatten (410, 420, 430). (410) ist eine Viertelwellenplatte, die wie Fig. 4b zeigt, das durchtretende Licht zirkular polarisiert. Ist das eintretende Lichtbündel bereits zirkular polarisiert, so kann die Platte (410) entfallen. Darauf folgt eine Platte (420), z.B. aus Glas oder Quarzglas, die unter zentral-symmetrischer Druckspannung steht und daher Spannungsdoppelbrechung zeigt. Dicke, Material und Spannung sind so ausgewählt, daß die Platte (420) im vom Ring-Bündel (41) berührten Außenbereich lokal jeweils eine Viertelwellenplatte ist, aber mit radialer Symmetrie, so daß das zirkular polarisiert eintretende Licht linear polarisiert wird, und zwar überall im Querschnitt mit der Polarisationsrichtung unter 45° zum Radius, vgl. Fig. 4c.

[0030] Im Zusammenwirken von Wärmeausdehnung und Temperaturgradienten beim Abkühlen oder bei einer Ausgleichs-Wärmebehandlung entsteht bei kreisrunden Glas-(oder Quarzglas, Berylliumfluorid, CaF₂ usw.) Scheiben immer eine derartige Druckspannung, die normalerweise durch möglichst langsames Abkühlen minimiert wird. Durch gezieltes Kühlen läßt sich aber in weiten Grenzen die gewünschte Druckspannung und damit die gewünschte Spannungsdoppelbrechung im Außenbereich erzeugen.

[0031] Darauf folgt noch eine dritte Platte (430), die zirkulare Doppelbrechung aufweist und die Polarisationsrichtung um 45° dreht. Damit wird, wie Fig. 4d zeigt, die radiale Polarisierung des austretenden Lichts über den gesamten Querschnitt erreicht.

[0032] Diese Ausführung hat wie das Beispiel der Fig. 1 den Vorteil, besonders dünn zu sein, und wie das Beispiel der Fig. 2 den Vorteil, exakt radiale Polarisierung zu ergeben ohne aufwendige Montage vieler Facetten oder Segmente. Hauptvorteil ist auch der hohe Wirkungsgrad, da die Polarisierung gedreht, nicht selektiert wird. Wird statt des Ringbündels (41) ein vollständiges Bündel durch die Anordnung geschickt, so wird der Kernbereich einfach nicht beeinflußt.

[0033] Fig. 5 zeigt schematisch eine komplette Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einer radial polarisierenden optischen Anordnung (55), hier ein Kegelstumpfpolarisator nach Fig. 2. Außer diesem Element und seiner Anordnung sind alle Teile und ihre Anordnung branchenüblich. Eine Lichtquelle (51), z.B. eine i-Linie-Quecksilberentladungslampe mit Spiegel (52), beleuchtet eine Blende (53). Ein Objektiv (54), z.

B. ein Zoom-Axicon-Objektiv nach DE 44 21 953, folgt und ermöglicht verschiedene Einstellungen, insbesondere die Wahl einer Ringapertur.

[0034] Auf den Kegelstumpfpolarisator (55), der für unpolarisiertes eintretendes Licht geeignet ist, folgt ein Wabenkondensor (56) und eine Relais- und Feldoptik (57). Diese Teile zusammen dienen der optimierten Beleuchtung des Reticle (58) - der Maske -, das durch das Projektionsobjektiv (59) verkleinert mit höchster Auflösung (unter 1 µm) auf den Resist-Film (60) des Wafers (61) abgebildet wird. Die numerische Apertur des Systems liegt bei Werten oberhalb 0,5 bis 0,9, wobei Ringaperturen zwischen 0,7 und 0,9 bevorzugt sind. Die radiale Polarisation des Lichts nach Verlassen des Kegelstumpfpolarisators (55) bewirkt, daß an allen folgenden optischen Elementen (56, 57, 58, 59) die Wirkung der Spannungsdoppelbrechung rotationssymmetrisch bezüglich der optischen Achse ist. Am größten ist der Effekt beim Eintritt in den Resistfilm (60), wo die größten Eintrittswinkel auftreten und daher optimale Transmission und minimale Reflexion erreicht werden. Der empfindliche Strahlengang im Projektionsobjektiv (59) ist ungestört.

[0035] Natürlich ist die Ausführung der polarisierenden optischen Anordnung (55) nicht auf das gezeigte Ausführungsbeispiel der Fig. 2 beschränkt, besonders alle erfindungsgemäßen polarisationsdrehenden Anordnungen stehen zur Wahl, eventuell mit vorgeschaltetem Polarisator oder doppelbrechender Platte zur Anpassung. Auch kann eine polarisationsdrehende optische Anordnung (55) an einen anderen Ort im Gesamtaufbau verlegt werden.

[0036] Das gilt besonders dann, wenn Umlenkspiegel ohne Phasenkorrektur oder polarisierende Elemente, z. B. Polarisationsstrahlteiler, vorgesehen sind. Dann ist die erfindungsgemäße polarisationsdrehende optische Anordnung dahinter (in Lichtflussrichtung) anzuordnen. Ein Beispiel dafür zeigt Fig. 6 anhand eines katadioptrischen Projektionsobjektivs.

[0037] Die Fig. 6 entspricht völlig der Fig. 1 der EP 0 602 923 A1 mit polarisierendem Strahlteiler (103), Konkavspiegel (106), Linsengruppen (102, 105, 108) und Viertelwellenplatte (104). Das polarisationsdrehende optische Element (107) ist hier aber nicht, wie bereits in der Einleitung beschrieben, wie bei EP 0 602 923 A1 eine Viertelwellenplatte zur zirkularen Polarisierung und damit gleichmäßigen Verschlechterung der Lichteinkopplung in das Resist (109), und auch nicht ein Mittel zur Ausrichtung der gleichmäßigen Linearpolarisation auf eine Vorzugsrichtung des Musters auf dem Reticle (101). Vielmehr ist hier eine radial polarisationsdrehende optische Anordnung (107) vorgesehen.

[0038] Wegen des geringen zur Verfügung stehenden Raums eignen sich hier die Ausführungen nach Fig. 1 und 4 am besten. Der Vorteil ist klar: unabhängig vom Muster des Einzelfalls wird optimale Streulichtunterdrückung und gleichmäßiger Wirkungsgrad der Lichteinkopplung in das Resist (109) erreicht.

[0039] Die radial polarisierende optische Anordnung (107) ist sobald wie möglich hinter dem Umlenkspiegel (103a) angeordnet im nahezu kollimierten Strahlengang, also in einem Bereich mäßiger Winkel und Divergenzen der Lichtstrahlen. Kleine Winkel sind wichtig für ein einwandfreies Funktionieren der doppelbrechenden Elemente. Beste Wirkung wird erzielt, wenn die Austrittsebene der erfindungsgemäßen polarisationsdrehenden Elemente in einer zur Bildebene fouriertransformierten Ebene des Beleuchtungs- oder Projektionssystems liegen, oder in einer dazu aequivalenten Ebene.

Patentansprüche

15

1. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage umfassend

20

- eine Lichtquelle (51),
- ein Beleuchtungssystem (52, 53, 54, 56, 57) zum Beleuchten einer Maske (58),
- ein Projektionsobjektiv (59) zur Abbildung der Maske (58) auf einen Wafer (61),
- eine optische Anordnung (55) zum Umformen eines eintretenden Lichtbündels in ein Lichtbündel mit im gesamten Querschnitt im wesentlichen in radialer Richtung linear polarisiertem Licht,

25

dadurch gekennzeichnet,
daß die optische Anordnung (55) zwischen Lichtquelle (51) und Maske (58) angeordnet ist.

30

2. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1 wobei die optische Anordnung (55) mindestens ein doppelbrechendes Element (11, 12, 1i, 5i, 5k, 430) umfaßt, um die Polarisationsrichtungen des eintretenden Lichtbündels im wesentlichen intensitätsverlustfrei zu drehen.

35

3. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1 oder 2, wobei die optische Anordnung mindestens vier Halbwellenplatten, (41, 42; 4i) mit jeweils unterschiedlich ausgerichteten Hauptachsen (21, 22; 2i) umfaßt.

40

4. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 3, wobei die Halbwellenplatten in einer Ebene angeordnet sind.

45

5. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 3 oder 4, wobei im Beleuchtungssystem ein Wabenkondensor (56) vorgesehen ist und jeder Wabe des Wabenkondensors (56) eine Halbwellenplatte (41, 42, 4i) zugeordnet ist.

50

6. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 3 oder 4, wobei die optische Anord-

nung einen Reflexionspolarisator (20') mit einer kegelmantel- oder kegelstumpfmantel-förmigen polarisierenden Fläche (21') umfaßt und in dem Strahlengang des am Reflexionspolarisator (20') reflektierten Lichts die Halbwellenplatten (5k, 5i) angeordnet sind.

7. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 1, wobei die optische Anordnung eine unter zentralsymmetrischer Druckspannung stehende spannungsdoppelbrechende Platte (420) umfaßt.

8. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7, wobei der spannungsdoppelbrechenden Platte (420) eine zirkular doppelbrechende um 45° drehende Platte (430) nachgeordnet ist.

9. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 7 oder 8, wobei der optischen Anordnung eine Viertelwellenplatte (410) vorgeschaltet ist.

10. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei das Beleuchtungssystem Ringaperturbeleuchtung erzeugt.

11. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Beleuchtungssystem mindestens ein nicht zur optischen Achse symmetrisches polarisierendes Bauteil umfaßt und die optische Anordnung (55) in Lichtflußrichtung hinter dem dem Wafer am nächsten liegenden nicht zur optischen Achse symmetrischen polarisierenden Bauteil angeordnet ist.

12. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die optische Anordnung in einem Bereich mit kollimiertem Strahlengang angeordnet ist.

13. Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die optische Anordnung in einer zur Maskenebene (58) fouriertransformierten Ebene oder in einer dazu äquivalenten Ebene angeordnet ist.

Claims 50

1. Microlithography projection exposure installation comprising
 - a light source (51),
 - an illumination system (52, 53, 54, 56, 57) for illuminating a mask (58),
 - a projection objective (59) for imaging the mask

(58) onto a wafer (61),

- an optical arrangement (55) for converting an entering light pencil into a light pencil with light that is linearly polarized in the entire cross section essentially in the radial direction,

characterized in that the optical arrangement (55) is arranged between light source (51) and mask (58).

2. Microlithography projection exposure installation according to Claim 1, the optical arrangement (55) comprising at least one birefringent element (11, 12, 1i, 5i, 5k, 430) in order to rotate the directions of polarization of the entering light pencil essentially in a manner free of intensity loss.
3. Microlithography projection exposure installation according to Claim 1 or 2, the optical arrangement comprising at least four half-wave plates (41, 42; 4i) having in each case differently oriented principal axes (21, 22; 2i).
4. Microlithography projection exposure installation according to Claim 3, the half-wave plates being arranged in one plane.
5. Microlithography projection exposure installation according to Claim 3 or 4, a honeycomb condenser (56) being provided in the illumination system and each honeycomb of the honeycomb condenser (56) being assigned a half-wave plate (41, 42; 4i).
6. Microlithography projection exposure installation according to Claim 3 or 4, the optical arrangement comprising a reflection polarizer (20') with a polarizing face (21') in the shape of a cone envelope or truncated cone envelope and the half-wave plates (5k, 5i) being arranged in the beam path of the light reflected at the reflection polarizer (20').
7. Microlithography projection exposure installation according to Claim 1, the optical arrangement comprising a stress-birefringent plate (420) under centrosymmetrical compressive stress.
8. Microlithography projection exposure installation according to Claim 7, a circularly birefringent plate (430) rotating through 45° being arranged downstream of the stress-birefringent plate (420).
9. Microlithography projection exposure installation according to Claim 7 or 8, a quarter-wave plate (410) being arranged upstream of the optical arrangement.
10. Microlithography projection exposure installation

according to one of Claims 1 to 9, the illumination system generating ring aperture illumination.

11. Microlithography projection exposure installation according to one of Claims 1 to 10, the illumination system comprising at least one polarizing component that is not symmetrical with respect to the optical axis, and the optical arrangement (55) being arranged, in the light flux direction, behind the polarizing component that is not symmetrical with respect to the optical axis and lies nearest to the wafer.
12. Microlithography projection exposure installation according to one of Claims 1 to 11, the optical arrangement being arranged in a region with a collimated beam path.
13. Microlithography projection exposure installation according to one of Claims 1 to 12, the optical arrangement being arranged in a plane that is Fourier-transformed with respect to the mask plane (58) or in a plane equivalent thereto.

Revendications

1. Appareil d'illumination microlithographique par projection comprenant
 - * une source de lumière (51),
 - * un système d'éclairage (52, 53, 54, 56, 57) pour éclairer un masque (58),
 - * un objectif de projection (59) pour représenter le masque (58) sur une galette (61),
 - * un arrangement optique (55) pour déformer un faisceau lumineux incident dans un faisceau lumineux dont la lumière est essentiellement polarisée de manière linéaire dans le sens radial dans toute sa section,
2. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 1, avec lequel l'arrangement optique (55) comprend au moins un élément biréfringent (11, 12, 1i, 5i, 5k, 430) afin de faire tourner les sens de polarisation du faisceau lumineux incident pratiquement sans pertes d'intensité.
3. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 1 ou 2, avec lequel l'arrangement optique comprend au moins quatre plaques demi-onde (41, 42 ; 4i) ayant chacune des axes principaux (21, 22 ; 2i) dirigés dans des directions différentes.
4. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 3, avec lequel les plaques demi-onde sont disposées dans un plan.
5. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 3 ou 4, avec lequel un condenseur de rayons (56) est prévu dans le système d'éclairage et une plaque demi-onde (41, 42, 4i) est associée à chaque rayon du condenseur de rayons (56).
6. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 3 ou 4, avec lequel l'arrangement optique comprend un polariseur à réflexion (20') muni d'une surface polarisante (21') en forme d'aire latérale de cône ou d'aire tronconique et les plaques demi-onde (5k, 5i) dont disposées dans le trajet des rayons de la lumière réfléchie sur le polariseur à réflexion (20').
7. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 1, avec lequel l'arrangement optique comprend une plaque de biréfringence par compression (420) qui se trouve sous une contrainte de tension symétrique centrale.
8. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 7, avec lequel la plaque de biréfringence par compression (420) est suivie d'une plaque de biréfringence circulaire (430) pouvant tourner sur 45°.
9. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon la revendication 7 ou 8, avec lequel une plaque quart d'onde (410) vient après l'arrangement optique.
10. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon l'une des revendications 1 à 9, avec lequel le système d'éclairage génère un éclairage à ouverture annulaire.
11. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon l'une des revendications 1 à 10, avec lequel le système d'éclairage comprend au moins un composant polarisant non symétrique par rapport à l'axe optique et l'arrangement optique (55) est disposé derrière le composant polarisant non symétrique par rapport à l'axe optique qui est le plus proche de la galette dans le sens de flux de la lumière.
12. Appareil d'illumination microlithographique par projection selon l'une des revendications 1 à 11, avec lequel l'arrangement optique est disposé dans une zone où le trajet du rayon est collimaté.
13. Appareil d'illumination microlithographique par pro-

jection selon l'une des revendications 1 à 12, avec lequel l'arrangement optique est disposé dans un plan obtenu par transformée de Fourier du plan du masque (58) ou dans un plan équivalent.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

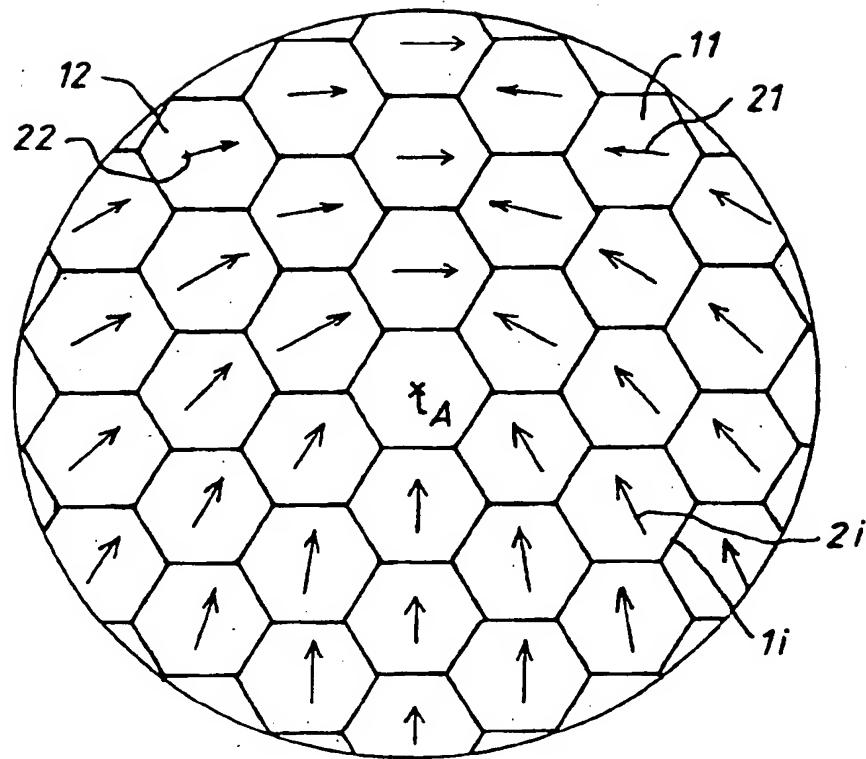


FIG. 1a

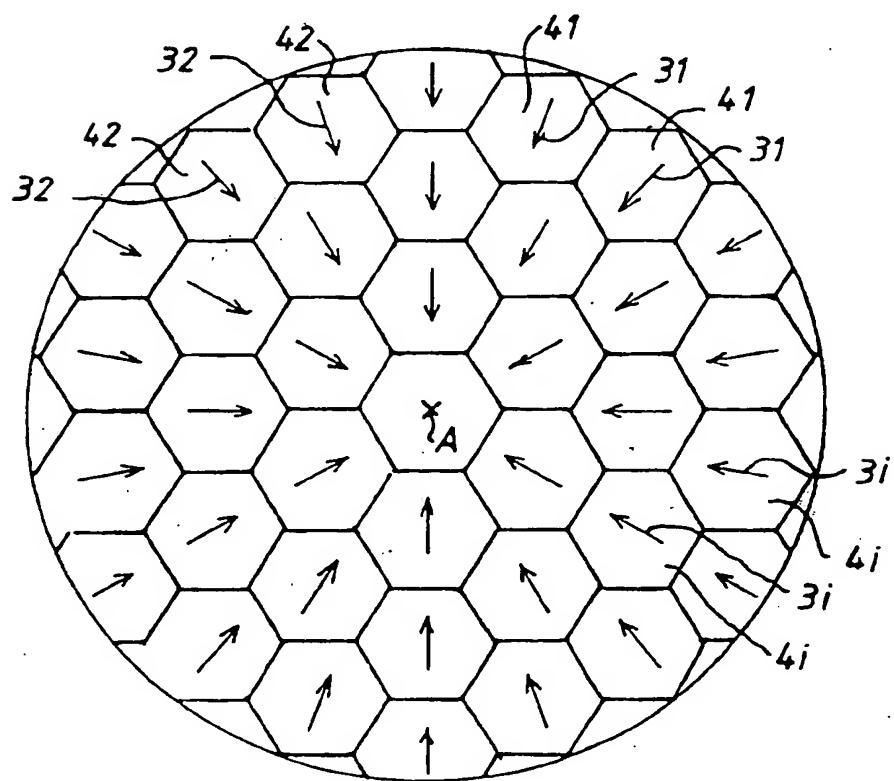


FIG. 1b

FIG. 2

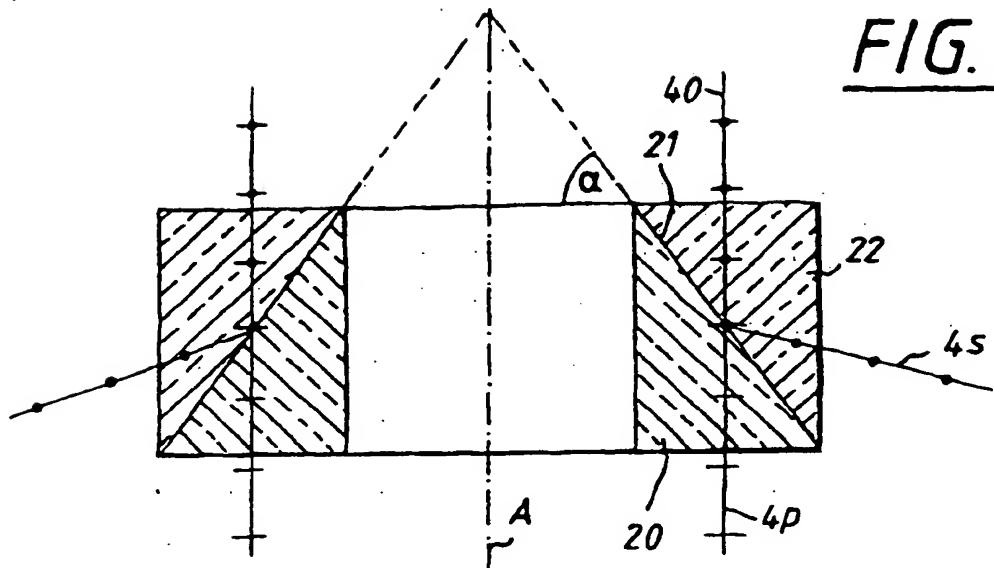
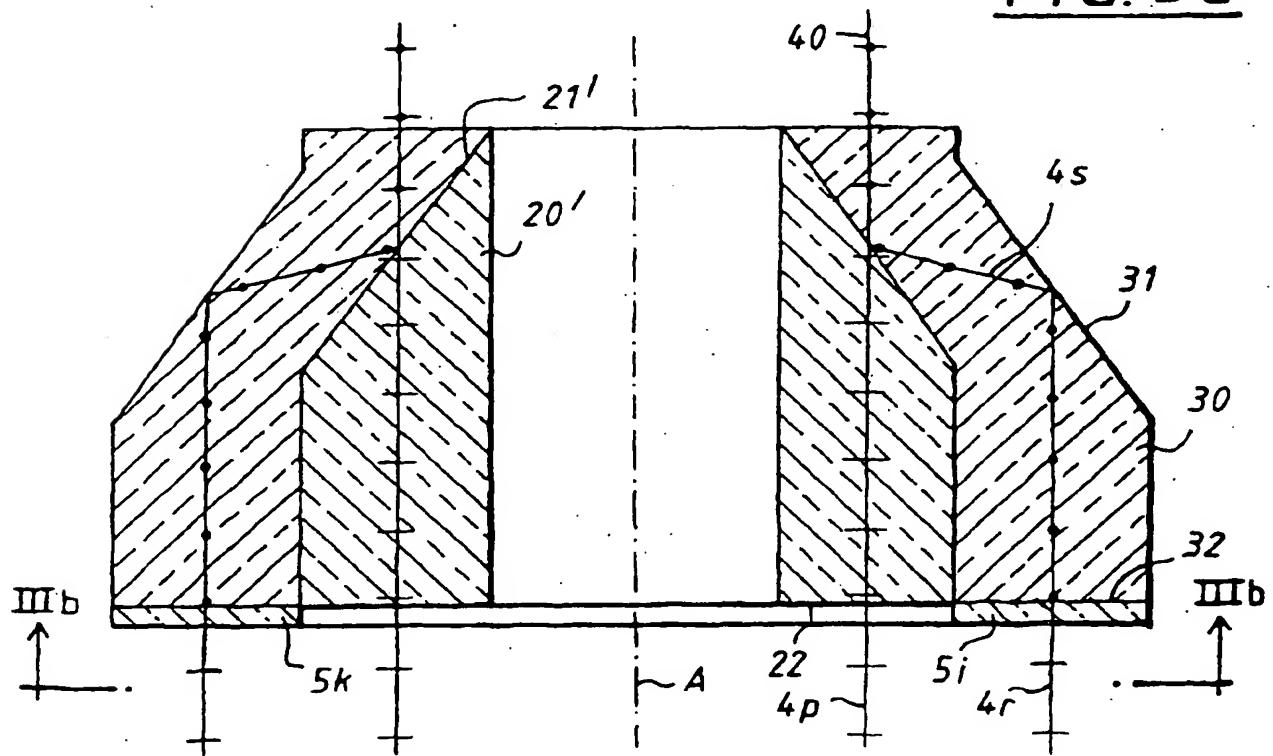


FIG. 3a



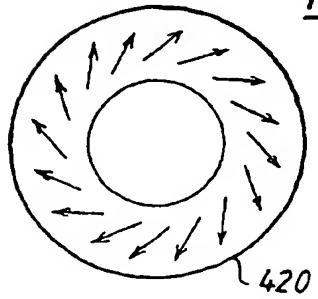
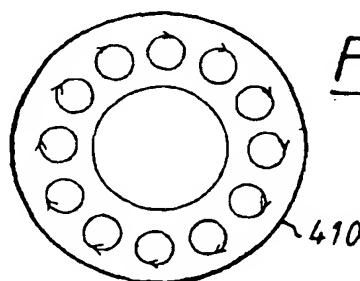
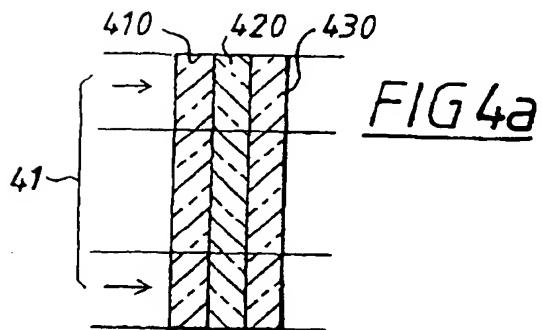
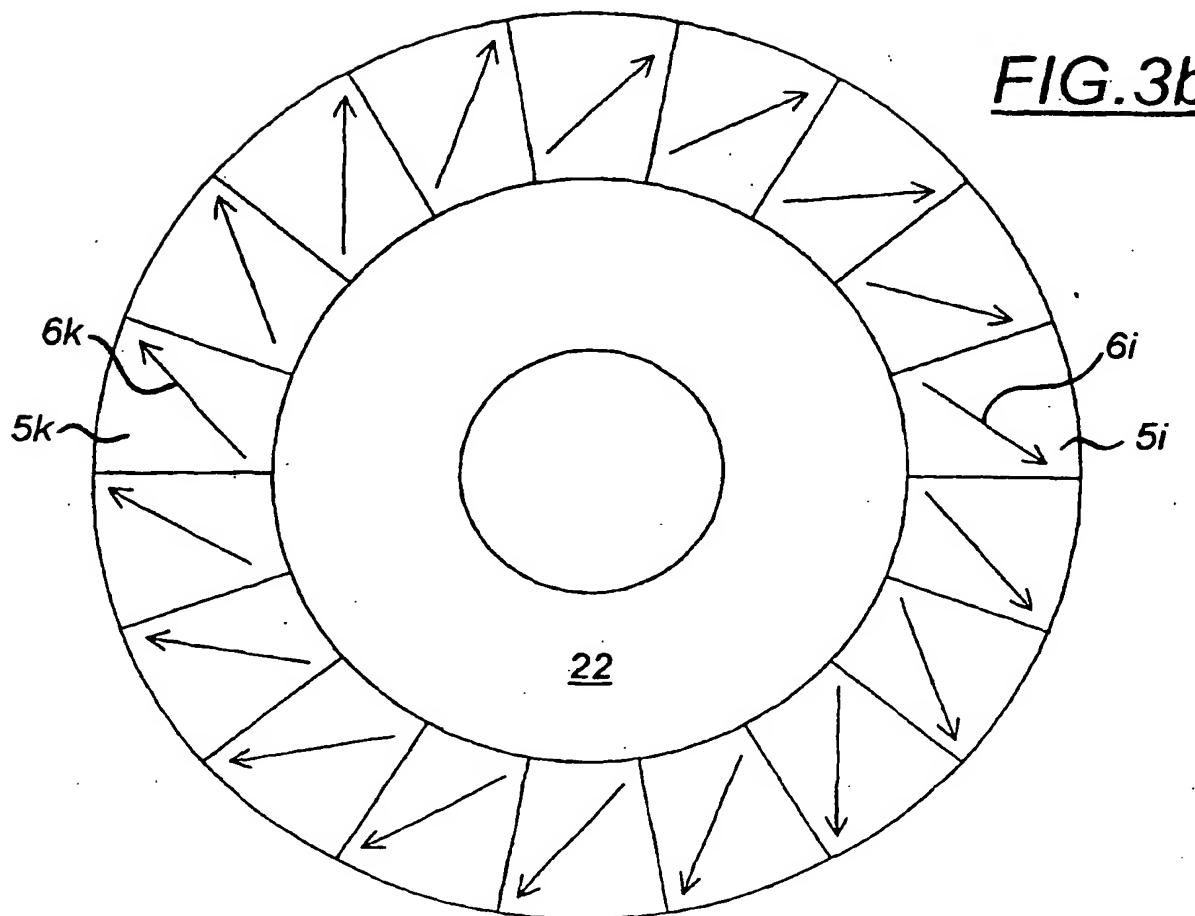
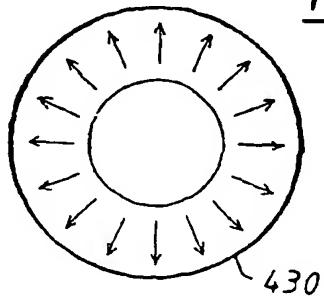


FIG. 4d



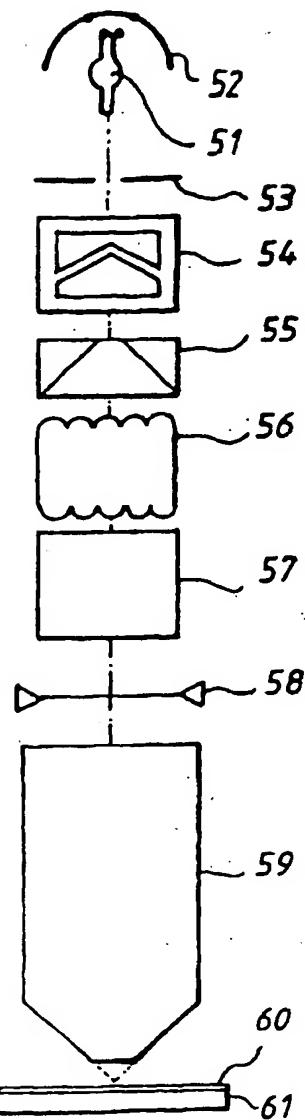


FIG. 5

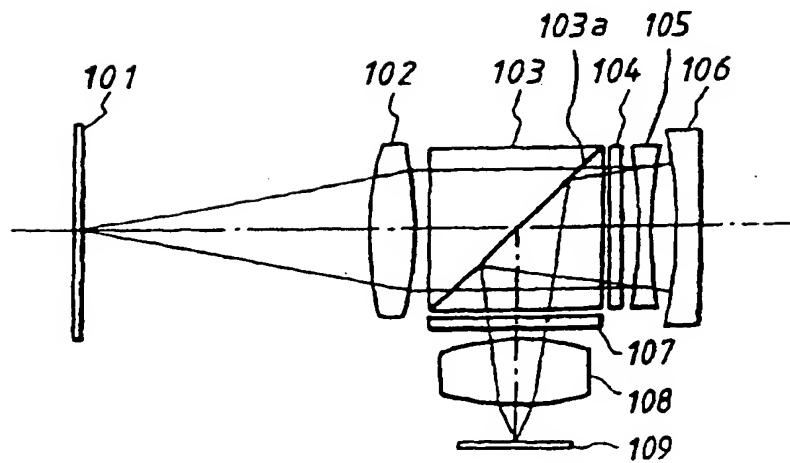


FIG. 6